

负荷密集型城市电网低频低压减载配置方案研究

周 磊¹，程维杰²，周 霞¹

(1.国电南瑞科技股份有限公司，江苏 南京 210003；2.深圳供电局有限公司，广东 深圳 518001)

摘 要：针对负荷密集型城市电网在极端严重故障下可能发生频率、电压崩溃的风险，本文提出既满足全网频率特性要求又适应局部负荷密集型城市电网频率要求的低频低压减优化方案。以深圳局部电网为例，进行仿真分析，仿真结果验证了所提所提配合原则的合理性和配置方案的可行性。

关键词：低频低压减载；城市电网；优化配置

0 引言

低频减负荷（UFLS）、低压减负荷（UVLS）作为电网安全稳定第三道防线，是防止电力系统在遭受极其严重故障后导致稳定破坏、发生大面积停电事故的重要技术手段^[1,2]。现代化城市的正常运转愈来愈依赖于可靠的电力供应，一旦发生电力供应瘫痪，对社会稳定造成的冲击和经济发展造成的损失无法估量^[3]。负荷密集型城市电网的负荷集中、电气联系紧密，导致电网短路电流超标问题日趋严重。为限制短路电流，部分地区 500kV 主变需分列运行，削弱了网架结构，降低了电网的抗风险能力。极端严重故障下，可能导致部分地区孤网。

针对上述情况，需要依靠电网第三道防线低频低压减载装置保证地区电网孤网后的稳定运行。但地区电网特别是城市电网的频率特性与全网的频率特性并不完全相同，按全网整定的低频减载方案应用到孤网后的城市电网时，可能会造成低频减载过切或欠切，需要进一步优化相应的低频低压减载方案^[4]。

本文以深圳电网的紫荆分区为例，在考虑局部地区孤网后低频低压减载方案与全网低频低压减载方案相互协调配合的基础上，对原有低频低压减载方案进行优化。

1 深圳电网简介及原有的低频低压减载方案

为限制短路电流，深圳电网紫荆分区中的 500kV 紫荆站 2 台主变分列运行，并与鹏城#3 主变组团运行，如图 1 所示。分区内最大负荷需求 3900MW，装机容量为 2200MW。若 500kV 紫荆

站单台变检修，则 220kV 母线并列运行，紫荆站剩余 1 台主变仍与鹏城站#3 主变组团运行，此时紫荆片区内所有负荷仅通过紫荆、鹏城 2 台主变供电，可靠性大为降低，极端情况下，两台主变同时或者相继跳闸，可导致地区孤网。深圳电网原有的低频低压减载方案如表 1 和表 2 所示。

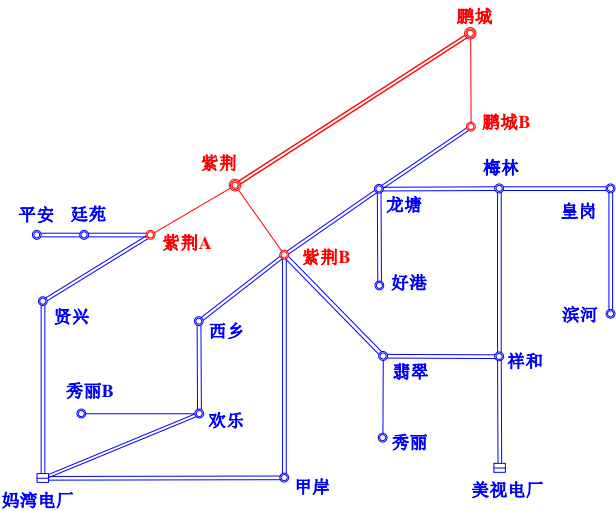


图 1 2015 年深圳电网紫荆分区结构示意图

表 1 深圳电网紫荆分区低频减载原始方案

| 定值 | 启动频率/Hz | 延时/s | 切负荷比例/% |
|-------|---------|------|---------|
| 第 1 轮 | 49.0 | 0.2 | 6.0 |
| 第 2 轮 | 48.8 | 0.2 | 6.0 |
| 第 3 轮 | 48.6 | 0.2 | 6.0 |
| 第 4 轮 | 48.4 | 0.2 | 6.0 |
| 第 5 轮 | 48.2 | 0.2 | 6.0 |
| 第 6 轮 | 48.0 | 0.2 | 6.0 |
| 第 7 轮 | 47.8 | 0.2 | 6.0 |
| 特 1 轮 | 48.5 | 15 | 3.0 |
| 特 2 轮 | 49.0 | 20 | 3.0 |

表 2 深圳电网紫荆分区低压减载原始方案

| 定值 | 第 1 轮 | 第 2 轮 |
|-------------|-------|-------|
| 启动电压/(p.u.) | 0.83 | 0.80 |
| 延时/s | 0.5 | 0.5 |
| 切负荷比例/% | 15 | 14 |

2015 年夏季高峰方式下，500kV 紫荆站单台变检修，受 N-1 限制，紫荆站剩余 1 台主变和鹏城站#3 主变下网总功率限制在 1370MW 以内。两台主变同时跳闸，导致地区孤网，现有低频低压方案下，低频减载动作 4 轮，切除负荷 642MW，低压减载动作 2 轮，切除负荷 946MW，共切除负荷 1588MW。现有方案导致过切，稳态频率高于 50.5Hz，频率响应曲线如图 2 所示。

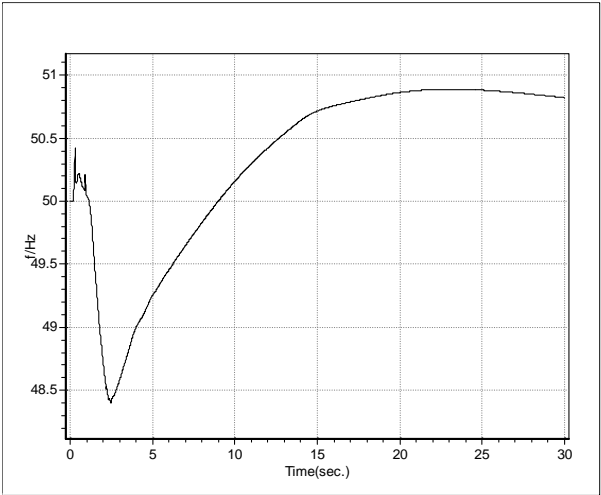


图 2 2015 年夏季高峰方式紫荆分区孤网后频率响应曲线

可见，原有的低频减载方案，仅满足于全网整体运行时的频率安全性要求，个别地区孤网后的频率特性与全网频率特性并不完全相同。按全网整定的低频减载方案应用到个别地区孤网电网时，可能会造成低频减载的过切。所以需要考虑严重故障导致部分网架薄弱地区孤网的情况，进一步优化相应的低频低压减载方案。

2 深圳电网紫荆分区低频低压减载方案的优化

由于深圳电网属于负荷密集型城市电网，位于南方电网的大受端，受电比例较大，孤网后电压支撑能力不足，存在低电压问题，所以需要配置低压减载装置来保证孤网后的电压稳定。保持现有的低压减载方案不变，调整后的低频减载方案如表 3 所示。

表 3 深圳电网紫荆分区低频减载改进方案

| 定值 | 启动频率/Hz | 延时/s | 切负荷比例/% |
|-------|---------|------|---------|
| 第 1 轮 | 49.0 | 0.2 | 6.8 |
| 第 2 轮 | 48.8 | 0.2 | 6.1 |
| 第 3 轮 | 48.6 | 0.2 | 4.6 |
| 第 4 轮 | 48.4 | 0.2 | 4.5 |
| 第 5 轮 | 48.2 | 0.2 | 7.2 |
| 第 6 轮 | 48.0 | 0.2 | 7.3 |
| 第 7 轮 | 47.8 | 0.2 | 6.1 |
| 特 1 轮 | 48.5 | 15 | 3.0 |
| 特 2 轮 | 49.0 | 20 | 3.0 |

改进后的低频减载方案动作 4 轮，切除负荷 506MW，低压减载切负荷量不变，仍为 946MW。相比原始方案，改进后的低频减载方案所切负荷量减少，且稳态频率低于 50.5Hz，具体频率响应情况的对比如图 3 和表 4 所示。

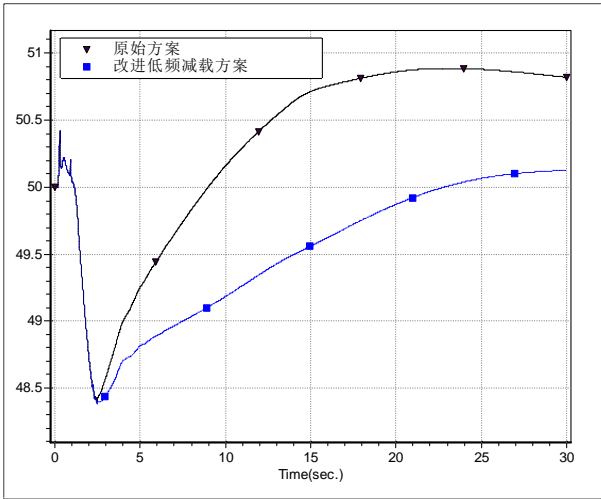


图 3 不同方案下紫荆分区孤网后频率响应曲线

表 4 深圳电网紫荆分区低压减载原始方案

| 方案 | 总切负荷量/MW | 最低频率/Hz | 恢复频率/Hz |
|-----|----------|---------|---------|
| 原方案 | 1588 | 48.4 | 50.9 |
| 新方案 | 1452 | 48.3 | 50.1 |

由于全网统一的低频低压减载方案主要考虑保证省级区域电网解列后的安全稳定，优化后的深圳地区低频减载方案切负荷总量基本不变，仅把全网低频低压减载方案中深圳地区的低频减载方案改为优化后的方案。基于 2015 年夏季高峰方式，对全网方案进行校核，考虑广东交流受入断面全部断开及所有馈入直流全部闭锁，频率响应曲线如图 4 所示。

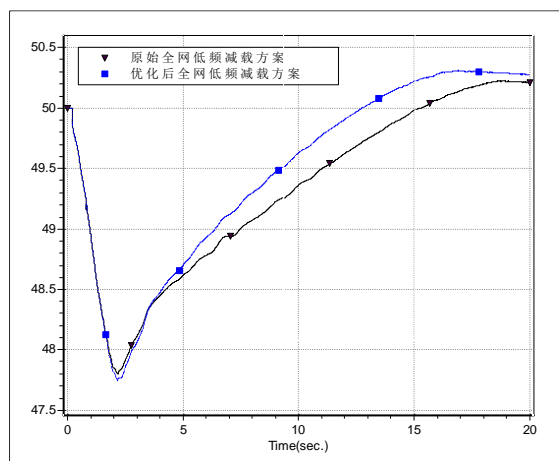


图 4 全网方案优化前后，广东电网孤网后频率响应曲线

由全网低频减载方案优化前后的频率响应情况对比可知，最低频率和恢复频率基本一致，优化后的方案既满足全网对低频减载的要求，又适应了地区电网的频率特性，较好的满足了地区电网孤网后的频率的安全性要求。

3 结论

对于互联电网，一般中央区域的主网架构电气联系较强，不会发生解列故障；而且整个系统的负荷也较多地集中在中央区域，中央区域电网的频率特性从一定程度上反映了全网的频率特性。所以对电气联系较强的中央区域电网仍可直接采用原有全网统一的低频减载方案，而对其局部地区，特别是供电可靠性要求很高的城市电网，则整定优化为更能适应其频率特性的新方案。该优化方案充分体现了低频减载整定的全局性原则，既对全网整体的频率特性有较好的适应性，也充分考虑了地区电网频率特性的特殊性。

本文针对负荷密集型城市电网在极端严重故障

下可能发生频率、电压崩溃的风险，提出了既满足全网频率特性要求又适应局部负荷密集型城市电网频率要求的低频低压减载优化方案，提高了深圳电网的供电可靠性。

参考文献：

- [1] DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[S].
- [2] GB/T 26399-2011, 电力系统安全稳定控制技术导则[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.
- [3] 李俊. 深圳电网 4·10 大停电事件的处理及启示[J]. 南方电网技术, 2014, 8(1): 65-69.
- [4] 陈桥平,蔡泽祥,李爱民,等. 互联电网的地区频率特性差异性及其对低频减载的影响研究[J]. 中国电力, 2009, 42(8): 1-5.
- [6] 候学勇,邱巍,鞠平,等. 江苏电网低频减载优化研究[J].江苏电机工程, 2008,7(4): 8-11.
- [7] 秦明亮,杨秀朝. 减少低频减载方案过切的措施研究[J].电网技术, 2002, 26(3): 83-86.
- [8] 解大,何恒静,常喜强,等. 计及同调分区和全局优化的电力系统低频减载方案[J].电网技术, 2010,34(6): 106-112.
- [10] 张建新. 基于频率变化率低频减载方案在南方电网应用的探讨[J].广东电力, 2013, 26(5): 34-39.
- [11] 王君,王晓茹,谢大鹏,等. 孤岛系统的低频减载方案研究[J].电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 29-33.

作者简介：

周 磊 (1982-), 男, 山东泰安人, 工程师, 从事电力系统安全稳定分析与控制的研究工作。